

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-204004

(43)Date of publication of application : 19.07.2002

(51)Int. Cl. H01L 43/08
G01R 33/09
G11B 5/39
G11C 11/14
G11C 11/15
H01F 10/16
H01L 27/105

(21)Application number : 2000- (71)Applicant : TOSHIBA CORP
401185

(22)Date of filing : 28.12.2000 (72)Inventor : SUNAI MASAYUKI
SAITO YOSHIAKI
NAKAJIMA KENTARO
AMANO MINORU

(54) MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT, MAGNETIC MEMORY, MAGNETIC HEAD,
AND MAGNETIC REPRODUCING APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetoresistance effect element, a magnetic memory, a magnetic head, and a magnetic reproducing apparatus capable of maintaining high enough magneto-resistance ratio and preventing increase of inverting magnetic field even for reduced size.

SOLUTION: The magnetoresistance effect element 1 comprises: a first ferromagnetic layer 3 for keeping a direction of magnetization prepared for no application of magnetic field in the prescribed magnetic field; a

second ferromagnetic layer 4 capable of varying a direction of magnetization prepared for no application of the magnetic field in the prescribed magnetic field; and a first tunnel barrier layer 6 lying between the first ferromagnetic layer 3 and the second ferromagnetic layer 4. The first ferromagnetic layer 3, the first tunnel barrier layer 6, and the second ferromagnetic layer 4 form a ferromagnetic tunnel junction, a composition of the ferromagnetic material included in the second ferromagnetic layer 4 is expressed by a general formula $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Y}_x$ or $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Y}_x$, and the Y is at least one element selected from the group consisting of B, Si, Zr, P, Mo, Al, and Nb.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.02.2003

[Date of sending the examiner's
decision of rejection]

[Kind of final disposal of
application other than the
examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for
application]

[Patent number] 3607609

[Date of registration] 15.10.2004

[Number of appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The 1st ferromagnetic layer holding the direction of the magnetization which it has in a predetermined external magnetic field at the time of un-impressing [of said external magnetic field], The 2nd ferromagnetic layer from which the direction of the magnetization which it has in said external magnetic field at the time of un-impressing [of

said external magnetic field] may change, The 1st tunnel barrier layer which intervenes between said 1st ferromagnetic layer and said 2nd ferromagnetic layer is provided. Said 1st ferromagnetic layer, said 1st tunnel barrier layer, and said 2nd ferromagnetic layer form a ferromagnetic tunnel junction. The presentation of the ferromagnetic ingredient contained in said 2nd ferromagnetic layer is expressed with general formula $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Y}_x$ or general formula $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Y}_x$. Said Y is a magneto-resistive effect component characterized by being at least one sort of elements chosen from the group which consists of B, Si, Zr, P, Mo, aluminum, and Nb.

[Claim 2] Said x is a magneto-resistive effect component according to claim 1 characterized by satisfying the relation shown in inequality $3 < x < 16$.

[Claim 3] The thickness of said 2nd ferromagnetic layer is a magneto-resistive effect component according to claim 1 or 2 characterized by being within the limits of 0.3nm thru/or 2.5nm.

[Claim 4] The 3rd ferromagnetic layer and the 2nd tunnel barrier layer holding the direction of the magnetization which it has in said external magnetic field at the time of un-impressing [of said external magnetic field] are provided further. Said 2nd ferromagnetic layer said 3rd ferromagnetic layer and said 2nd tunnel barrier layer between said 1st tunnel barrier layer and said 2nd tunnel barrier layer It is arranged so that it may intervene and may be placed between said 2nd ferromagnetic layer lists by said 1st and 2nd tunnel barrier layers between said 1st ferromagnetic layer and said 3rd ferromagnetic layer. Said 3rd ferromagnetic layer, said 2nd tunnel barrier layer, and said 2nd ferromagnetic layer are a magneto-resistive effect component given in any 1 term of claim 1 characterized by forming a ferromagnetic tunnel junction thru/or claim 4.

[Claim 5] Magnetic memory characterized by providing the 1st and 2nd wiring which intersects any 1 term of claim 1 thru/or claim 4 on both sides of the magneto-resistive effect component and said magneto-resistive effect component of a publication.

[Claim 6] The magnetic head characterized by providing the base material which supports the magneto-resistive effect component and said magneto-resistive effect component of a publication in any 1 term of claim 1 thru/or claim 4, and the electrode of a pair connected to said magneto-resistive effect component.

[Claim 7] The magnetic head which reads the information which possessed the electrode of a pair connected to the base material which supports the magneto-resistive effect component and said magneto-resistive effect

component of a publication in any 1 term of a magnetic-recording medium, claim 1, or claim 4, and said magneto-resistive effect component, and was recorded on said magnetic-recording medium, and magnetic-reproducing equipment characterized by providing the migration device in which said magnetic head is made displaced relatively to said magnetic-recording medium.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to a magneto-resistive effect component, magnetic memory, the magnetic head, and magnetic-reproducing equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] The ferromagnetic single tunnel junction has the structure which comes to pinch a thin insulator layer in the ferromagnetic layer of a pair. If bias voltage is impressed using these ferromagnetism layer as an electrode, tunnel current will flow to a ferromagnetic single tunnel junction.

[0003] In a ferromagnetic single tunnel junction, it changes depending on the include angle which the magnetization direction of the tunnel resistance at the time of tunnel current flowing, i.e., tunnel conductance, **, and one ferromagnetic layer and the magnetization direction of the ferromagnetic layer of another side make. If it puts in another way, the magneto-resistive effect (magnetoresistance effect) acquired by the ferromagnetic single tunnel junction is based on tunnel conductance changing according to the include angle which the magnetization direction makes between ferromagnetic layers. For example, it is the 1st direction where the magnetization direction of one ferromagnetic layer is parallel to a film surface, and when the magnetization direction of the ferromagnetic layer of another side is the 2nd direction of the reverse sense for the 1st direction, tunnel conductance serves as min. Moreover, when both the magnetization directions of these ferromagnetism layer are the 1st direction, tunnel conductance serves as max.

[0004] The application to a device with such ferromagnetic various single tunnel junctions is expected. For example, about the

ferromagnetic single tunnel junction which used one ferromagnetic layer as the magnetization fixing layer to which the magnetization direction was fixed, and used the ferromagnetic layer of another side as the free layer from which the magnetization direction may change according to an external magnetic field, using as a memory cell of solid-state MAG memory (or magnetic-random-access-memory:MRAM) is proposed, and this MRAM is already made as an experiment with low storage capacity.

[0005] MRAM is fundamentally nonvolatile, and writing and read-out of a high speed are possible for it, and, moreover, it has the description which was [be / the fatigue-proof property over the repeat of writing and read-out / high] excellent. However, when the size of a memory cell is reduced with large-capacity-izing, a magnetic field required to reverse the magnetization direction of a free layer and so-called reversal magnetic field , become large, and MRAM has the problem that a write-in bigger current is needed, so that it may explain below.

[0006] The reversal magnetic field of a free layer is proportional to $1/W$ (W : width of face of a cel). Moreover, it is known that this reversal magnetic field is proportional also to Thickness t and the saturation magnetization M_s of a free layer. That is, the reversal magnetic field of a free layer is proportional to $t \cdot M_s / W$. In addition, although it is necessary to impress the external magnetic field exceeding the demagnetizing field produced inside a free layer in order for that the reversal magnetic field of a free layer is proportional to $1/W$ to rewrite the information which was made to reverse the magnetization direction of a free layer and was memorized by the MRAM cel, this demagnetizing field are because it is brought by the magnetic pole produced crosswise [of a cel].

[0007] What is necessary is just to decrease the thickness t of a free layer, in order to avoid that a reversal magnetic field increases when the size of a memory cell is reduced so that clearly from the above-mentioned proportionality. However, when thickness t is made thin, originally, the free layer which should be the continuation film is not obtained, but serves as a gestalt which distributed many particles on the substrate. Since the thin film which the particle of such a large number forms serves as paramagnetic material instead of a ferromagnetic, a magnetic-reluctance ratio will decrease remarkably.

[0008] Moreover, when the size of a memory cell is reduced, in order to avoid that a reversal magnetic field increases, saturation magnetization M_s can also be decreased. however, in order to decrease saturation magnetization M_s , when a non-magnetic material is added into the ingredient which constitutes a free layer, it will be alike occasionally,

it will carry out, also whenever [spin polarization / of the conduction electron in a Fermi surface] will fall, and the fall of a magnetic-reluctance ratio will be caused.

[0009] That is, with the conventional technique, when the size of a memory cell was reduced, increase of the reversal field of a free layer was not able to be prevented, maintaining a magnetic-reluctance ratio high enough. In addition, the problem explained in relation to MRAM exists similarly in the magnetic head using a ferromagnetic single tunnel junction. Moreover, the problem mentioned above about the ferromagnetic single tunnel junction is the same also in a ferromagnetic duplex tunnel junction.

[0010]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] This invention aims at offering the magneto-resistive effect component which maintains a magnetic-reluctance ratio high enough, and can prevent increase of a reversal field, magnetic memory, the magnetic head, and magnetic-reproducing equipment, when it is made in view of the above-mentioned trouble and size is contraction-sized.

[0011]

[Means for Solving the Problem] The 1st ferromagnetic layer holding the direction of the magnetization equipped with this invention in a predetermined external magnetic field at the time of un-impressing [of said external magnetic field] in order to solve the above-mentioned technical problem, The 2nd ferromagnetic layer from which the direction of the magnetization which it has in said external magnetic field at the time of un-impressing [of said external magnetic field] may change, The 1st tunnel barrier layer which intervenes between said 1st ferromagnetic layer and said 2nd ferromagnetic layer is provided. Said 1st ferromagnetic layer, said 1st tunnel barrier layer, and said 2nd ferromagnetic layer form a ferromagnetic tunnel junction. The presentation of the ferromagnetic ingredient contained in said 2nd ferromagnetic layer is expressed with general formula $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Yx}$ or general formula $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Yx}$. Said Y offers the magneto-resistive effect component characterized by being at least one sort of elements chosen from the group which consists of B, Si, Zr, P, Mo, aluminum, and Nb.

[0012] Moreover, this invention offers the magnetic memory characterized by providing said magneto-resistive effect component and the 1st and 2nd wiring which crosses on both sides of said magneto-resistive effect component.

[0013] Furthermore, this invention offers the magnetic head

characterized by providing said magneto-resistive effect component, the base material which supports said magneto-resistive effect component, and the electrode of a pair connected to said magneto-resistive effect component.

[0014] In addition, this invention offers the magnetic-reproducing equipment characterized by providing the migration device in which the magnetic head which reads the information which possessed the electrode of a pair connected to the magnetic-recording medium, the base material which supports said magneto-resistive effect component and said magneto-resistive effect component, and said magneto-resistive effect component, and was recorded on said magnetic-recording medium, and said magnetic head are made displaced relatively to said magnetic-recording medium.

[0015] As for Above x, in this invention, it is desirable to satisfy the relation shown in inequality $3 < x \leq 16$. Moreover, as for the thickness of the 2nd ferromagnetic layer, in this invention, it is desirable that it is within the limits of 0.3nm thru/or 2.5nm.

[0016] In this invention, the above-mentioned ferromagnetic tunnel junction may be a ferromagnetic single tunnel junction, or may be a ferromagnetic duplex tunnel junction. In the case of the latter, the above-mentioned magneto-resistive effect component has further the 3rd ferromagnetic layer and the 2nd tunnel barrier layer holding the direction of the magnetization which it has in the above-mentioned external magnetic field at the time of un-impressing [of an external magnetic field]. The ferromagnetic layer of them 3rd and the 2nd tunnel barrier layer are arranged so that the 2nd ferromagnetic layer may intervene between two tunnel barrier layers and the 2nd ferromagnetic layer and two tunnel barrier layers may intervene between the 1st and 3rd ferromagnetic layers.

[0017]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, this invention is explained more to a detail, referring to a drawing. In addition, in each drawing, the same reference mark is given to a similarly similar component, and the overlapping explanation is omitted.

[0018] Drawing 1 is the sectional view showing roughly the magneto-resistive effect component concerning the 1st operation gestalt of this invention. The magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 1 has ferromagnetic single tunnel junction 2a. This ferromagnetic single tunnel junction 2a has the structure where the ferromagnetic layer 3 of a pair and the tunnel barrier layer 6 which consists of an insulator etc. among four were made to intervene. This ferromagnetic single tunnel junction 2a is constituted so that tunnel current may flow between these

ferromagnetism layer 3 and 4 through the tunnel barrier layer 6.

[0019] The antiferromagnetism layer 8 is arranged in the rear face of the field which touches the tunnel barrier layer 6 of the ferromagnetic layer 3. Thereby, even if the magnetization direction of the ferromagnetic layer 3 makes an external magnetic field act, it does not change. On the other hand, fundamentally, the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4 may be freely rotated according to an external magnetic field. namely, the 1st ferromagnetic layer to which, as for the ferromagnetic layer 3, the magnetization direction was fixed in the magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 1, the so-called magnetization fixing layer, the 2nd ferromagnetic layer from which it comes out, and it is and, as for the ferromagnetic layer 4, the magnetization direction may change according to an external magnetic field, and the so-called free layer -- it comes out. If it puts in another way, the magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 1 will use the magneto-resistive effect that tunnel resistance or tunnel current changes, if the include angle at which it is made for it to be reversed or to rotate, and the magnetization direction of the ferromagnetic layer 3 and the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4 make the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4 by the external magnetic field is changed.

[0020] Ferromagnetic single tunnel junction 2a and the antiferromagnetism layer 8 which were mentioned above are usually formed by carrying out sequential membrane formation of the various thin films on one principal plane of a substrate 10. In addition, in the magneto-resistive effect component 1 of drawing 1, between the substrate 10 and the antiferromagnetism layer 8, the laminating of the diffusion barrier layer 11 and the orientation control layer 12 is carried out one by one from the substrate 10 side, and the laminating of a protective layer 13 and the wiring layer 14 is carried out one by one on the ferromagnetic layer 4. Moreover, a reference number 15 is an insulating layer.

[0021] Drawing 2 is the sectional view showing roughly the magneto-resistive effect component concerning the 2nd operation gestalt of this invention. The magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 2 has the almost same structure as the magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 1 except having ferromagnetic duplex tunnel junction 2b instead of ferromagnetic single NNERU junction 2a, and having the antiferromagnetism layer 9 further between ferromagnetic duplex tunnel junction 2b and a protective layer 13.

[0022] In the magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 2, ferromagnetic duplex tunnel junction 2b makes the tunnel barrier layer 6

intervene between the ferromagnetic layer 3 and 4, and has the ferromagnetic layer 4 and the structure where the tunnel barrier layer 7 was made to intervene among five. This ferromagnetic duplex tunnel junction 2b is constituted so that tunnel current may flow between the ferromagnetic layer 3 and 4 and between the ferromagnetic layer 4 and 5 through the tunnel barrier layers 6 and 7.

[0023] Moreover, in the magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 2, the ferromagnetic layer 5 is also a magnetization fixing layer to which the magnetization direction was fixed by existence of the antiferromagnetism layer 9 the same with having explained the ferromagnetic layer 3. If the magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 2 changes the include angle at which it is made for it to be reversed or to rotate, and the magnetization direction of the ferromagnetic layers 3 and 5 and the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4 make the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4 by the external magnetic field, it will use the magneto-resistive effect that tunnel resistance or tunnel current changes.

[0024] Now, the magneto-resistive effect component 1 concerning the 1st and 2nd operation gestalten mentioned above is characterized by constituting from an ingredient which explains the ferromagnetic layer 4 below. That is, the presentation of the ferromagnetic layer 4 is expressed with general formula $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Y}_x$ or general formula $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Y}_x$ in the magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 1 and drawing 2. In addition, in these general formulas, Y is at least one sort of elements chosen from the group which consists of B, Si, Zr, P, Mo, aluminum, and Nb. Moreover, x is a numeric value with which are satisfied of inequality $0 < x < 100$, and is a numeric value with which are satisfied of inequality $3 < x < 16$ preferably.

[0025] Other than the ingredient shown in these general formulas not containing Element Y, when saturation magnetization M_s is small, therefore size of the magneto-resistive effect component 1 is contraction-ized compared with the ingredient which has the same presentation, a reversal field does not become large superfluously (or when the width of face W of the ferromagnetic layer 4 is narrowed). Moreover, since crystallization is controlled according to the above-mentioned ingredient containing Element Y when decreasing the thickness t of the ferromagnetic layer 4, the ferromagnetic layer 4 can be formed as continuation film. That is, even if it is the case where size of the magneto-resistive effect component 1 is contraction-ized, it becomes possible to maintain the reversal field of the ferromagnetic layer 4

proportional to formula $t-M_s/W$ to a value small enough by using the ingredient shown in the above-mentioned general formula.

[0026] Drawing 3 is a graph which shows an example of the relation of the presentation and its magnetic-reluctance rate of change of the ferromagnetic layer 4 of the magneto-resistive effect component 1 concerning the 1st of this invention, and the 2nd operation gestalt. This graph is drawn based on the data which have the presentation shown in general formula $(\text{Co}_9\text{Fe}) 100-x\text{B}_x$, and were obtained about the magneto-resistive effect component 1 using the ferromagnetic layer 4 whose thickness is 1nm, an axis of abscissa shows x in the above-mentioned general formula equivalent to the concentration of B in the ferromagnetic layer 4, and the axis of ordinate shows magnetic-reluctance rate of change (%).

[0027] The minimum of the thickness which can form membranes is about at most 1.5nm, using as the continuation film the Co_9Fe film which does not contain B by the usual membrane formation approach under a room temperature. When the Co_9Fe film is formed as discontinuity film, the discontinuity film consists of the aggregates of the particle of the diameter of several nm. Lose the ferromagnetism under a room temperature, the magnetization direction stops becoming settled, and each of these particles serves as the so-called superparamagnetism. Consequently, magnetic-reluctance rate of change falls within the limits of practical magnetic field strength notably.

[0028] If B is added to Co_9Fe to it, when thickness is 1nm, as about 0.5nm of thickness can form the continuation film, for example, it is shown in drawing 3, by setting x to 3 thru/or 16, 10% or more and magnetic-reluctance rate of change high enough can be obtained, and thing magnetic-reluctance rate of change can be obtained 20% or more by making x about into five.

[0029] In addition, the data shown in drawing 3 are obtained when B is added as an element Y, but the same inclination is observed when Si, Zr, P, Mo, aluminum, and Nb are added as an element Y.

[0030] The reason whose formation of the very thin continuation film is attained when Element Y is added is that crystallization is controlled since the diffusion or migration of an atom which reached on the membrane formation side in the membrane formation process is controlled by addition of Element Y. Conversely, if it says, when not adding Element Y, since the diffusion or migration of an atom which reached on the membrane formation side is performed comparatively freely, crystallization tends to produce it. Therefore, with the conventional technique, the superparamagnetism to which the magnetization direction

swings although each island is a ferromagnetic will be shown by forming the island-shape structure where the path of each island is about several nm, when thickness is made thin, consequently magnetic-reluctance rate of change becomes remarkably low.

[0031] Moreover, in drawing 3, if x increases exceeding 5, magnetic-reluctance rate of change will fall. Although [necessarily] the reason is not necessarily clear, if the concentration of Element Y becomes high, dispersion of conduction electron will increase, and it is thought that it is for whenever [spin polarization / of the conduction electron of a Fermi level] to fall remarkably.

[0032] As explained above, in spite of being able to form the very thin continuation film and containing the element Y which is a non-magnetic material moreover, according to the ingredient shown in the above-mentioned general formula, magnetic-reluctance rate of change high enough can be obtained. That is, by constituting from an ingredient which shows the ferromagnetic layer 4 in the above-mentioned general formula, when size of the magneto-resistive effect component 1 is contraction-sized, a magnetic-reluctance ratio high enough can be maintained, and increase of a reversal field can be prevented.

[0033] Especially the ingredient that constitutes the ferromagnetic layers 3 and 5 in the magneto-resistive effect component 1 mentioned above is not what is restricted. For example, a NiFe alloy, Fe, Co, nickel which are represented by the permalloy, And half metal, such as a Heusler alloy like the alloy containing them, NiMnSb, and PtMnSb, Various soft magnetic materials, such as half metal of oxide systems, such as CrO₂, magnetite, and Mn perovskite, and an amorphous alloy, to hard magnetic materials, such as a CoPt alloy, a FePt alloy, and a transition-metals-rare earth alloy, can use various ferromagnetic ingredients.

[0034] Moreover, in the magneto-resistive effect component 1 mentioned above, since those magnetization directions are fixed by switched connection with the ferromagnetic layers 3 and 5, the antiferromagnetism layers 8 and 9 are formed, respectively. In addition to the thin film which consists of antiferromagnetism ingredients, such as antiferromagnetism alloys, such as FeMn, IrMn, PtMn, and NiMn, and NiO, Fe 203, as these antiferromagnetism layers 8 and 9, antiferromagnetism switched connection film, such as Co/Ru/Co and Co/Au/Co, may be used, for example.

[0035] The tunnel barrier layers 6 and 7 should just have the potential height and thickness of the range which can pass tunnel current between the ferromagnetic layer 3 and 4 and between the ferromagnetic layer 4

and 5, respectively. As an ingredient of the tunnel barrier layers 6 and 7, an oxide or a nitride containing aluminum, Si, Mg, rare earth elements, and these elements of an alloy etc. can be used, for example. However, as for the thin film which consists of an oxide insulator, a potential barrier changes with the production conditions etc. a lot. The property of the magneto-resistive effect component 1 needs to set up a class, production conditions, etc. suitably according to component size, while the degree of freedom of a setup of a component property becomes high when using such an oxide insulator since it changes a lot according to the width of face and the height of a potential barrier.

[0036] In the above-mentioned magneto-resistive effect component 1, the silicon single crystal substrate with which the SiO₂ diacid-ized film was formed in the front face can be used as a substrate 10, for example. The diffusion barrier layer 11 formed on a substrate 10 is for preventing diffusion, and can use Ta, TaPt, Ti, TiNx, and CoSi₂ grade as the ingredient, for example. The orientation control layer 12 formed on a diffusion barrier layer is a substrate layer for forming the antiferromagnetism layer 8 which has a desired crystal stacking tendency, for example, may consist of ingredients, such as NiFe, and Cu, Ag, Au. Moreover, as an ingredient of a protective layer 13, Ta, Au, etc. can be used and aluminum, Cu, Ag, Au, etc. can be used as an ingredient of a wiring layer 14, for example.

[0037] Next, the magnetic memory using the magneto-resistive effect component 1 concerning the 1st and 2nd operation gestalten is explained.

[0038] Drawing 4 is the sectional view showing roughly the magnetic memory (MRAM) using the magneto-resistive effect component 1 concerning the 1st of this invention, and the 2nd operation gestalt. Moreover, drawing 5 is the representative circuit schematic of MRAM shown in drawing 4.

[0039] MRAM21 shown in drawing 4 has the silicon substrate 22. The gate electrode 24 is formed on this silicon substrate, and as this gate electrode 24 is inserted into the surface field of a silicon substrate 22, the source drain fields 25 and 26 are formed in it. Thereby, MOS transistor 23 is constituted. In addition, the gate electrode 24 constitutes the WORD line for read-out (WL1). Moreover, on the WORD line (WL1) 24, it writes in through an insulator layer 27 and the WORD line (WL2) 28 of business is formed.

[0040] The end of the contact metal 29 is connected to the drain field 26 of MOS transistor 23, and the substrate layer 30 is connected to the other end of the contact metal 29. The ferromagnetic tunnel junction component (TMR) 31 is formed in the location corresponding to the WORD

line 28 on this substrate layer 30 (WL2), and the bit line 32 is further formed on TMR31.

[0041] The cell of MRAM21 is constituted as mentioned above. In addition, TMR31 and the substrate layer 30 which are shown in drawing 4 are equivalent to the structure excluding the substrate 10, the protective layer 13, the wiring layer 14, the insulating layer 15, etc. from the magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 1 and drawing 2.

[0042] The memory cell which consists of MOS transistor 23 mentioned above and TMR31 is arranged in the shape of an array, as shown in drawing 5. The WORD line 24 for read-out (WL1) which is the gate electrode of a transistor 23, and the WORD line 28 for writing (WL2) are arranged in parallel. Moreover, the bit line (BL) 32 connected to the upper part of TMR31 is arranged so that it may intersect perpendicularly with the WORD line (WL1) 24 and the WORD line (WL2) 28.

[0043] Since the magneto-resistive effect component 1 concerning the 1st and 2nd operation gestalten is used for this MRAM21, it can prevent increase of the reversal field of a free layer, maintaining a magnetic-reluctance ratio high enough, when the size of a memory cell is reduced. That is, when the size of a memory cell is reduced in this MRAM21, informational writing is fully possible with a current.

[0044] In addition, in MRAM21, diode may be used instead of a transistor 23. For example, MRAM21 can be obtained, even if it forms the memory cell which consists of a layered product of diode and TMR31 on the WORD line 24, and it forms the bit line 32 so that it may intersect perpendicularly with the WORD line 24 on TMR31.

[0045] Next, the magnetic head using the magneto-resistive effect component 1 concerning the 1st and 2nd operation gestalten is explained. Drawing 6 is the perspective view showing roughly the magnetic-head assembly which has the magnetic head using the magneto-resistive effect component 1 concerning the 1st of this invention, and the 2nd operation gestalt. The magnetic-head assembly 41 shown in drawing 6 has the actuator arm 42 equipped with the bobbin section holding a drive coil etc. The end of a suspension 43 is attached in this actuator arm 42, and the head slider 44 is attached in the other end of a suspension 43. The magneto-resistive effect component 1 concerning the 1st and 2nd operation gestalten mentioned above is used for the magnetic reproducing head included in this head slider 44.

[0046] On the suspension 43, the writing of a signal and the lead wire 45 for reading are formed, and these lead wire 45 is electrically connected to the electrode of the magnetic reproducing head included in the head slider 44, respectively. In addition, in drawing 6, the

reference number 46 shows the electrode pad of the magnetic-head assembly 41.

[0047] This magnetic-head assembly 41 may be carried in a magnetic recorder and reproducing device which is explained below. Drawing 7 is the perspective view showing roughly the magnetic recorder and reproducing device which carried the magnetic-head assembly 41 shown in drawing 6. In the magnetic recorder and reproducing device 51 shown in drawing 7, the magnetic disk 52 which is a magnetic-recording medium is supported by the spindle 53 pivotable. The motor (not shown) which operates according to the control signal from a control section (not shown) is connected to the spindle 53, and, thereby, rotation of a magnetic disk 52 is made controllable.

[0048] The fixed shaft 54 is arranged near the periphery section of a magnetic disk 52, and this fixed shaft 54 is supporting the magnetic-head assembly 41 shown in drawing 6 through the ball bearing (not shown) arranged at those two upper and lower sides rockable. The coil (not shown) is twisted around the bobbin section of the magnetic-head assembly 41, and the permanent magnet countered and arranged on both sides of this coil and it and opposite York constitute the voice coil motor 55 with forming a magnetic circuit. It makes it possible to make it located with this voice coil motor 55 to up to the truck of a request of the head slider 44 at the tip of the magnetic-head assembly 41 of a magnetic disk 52. In addition, in this magnetic recorder and reproducing device 51, informational record and playback rotate a magnetic disk 52, and where the head slider 44 is surfaced from a magnetic disk 52, they are performed.

[0049] As mentioned above, the magneto-resistive effect component 1 concerning the 1st and 2nd operation gestalten can be used for magnetic memory, the magnetic head, magnetic-reproducing equipment, and a magnetic recorder and reproducing device. Moreover, the magneto-resistive effect component 1 concerning the 1st and 2nd operation gestalten can also be used for the field detection equipment which used a magnetometric sensor and it.

[0050]

[Example] Hereafter, the example of this invention is explained.

(Example) It produced by the approach of explaining below the magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 2. First, Si/SiO₂ substrate 10 was carried in in the sputtering system. Next, the initial degree of vacuum in equipment was set as 2×10^{-7} or less Torr, after that, Ar was introduced in equipment and the pressure was set to 2×10^{-3} . Subsequently, sequential membrane formation of the diffusion barrier

layer 11 which consists of Ta with a thickness of 5nm on one principal plane of Si/SiO₂ substrate 10, the orientation control layer 12 which consists of NiFe with a thickness of 15nm, the antiferromagnetism layer 8 which consists of Ir₂₂Mn₇₈ with a thickness of 17nm, and the ferromagnetic layer 3 which consists of CoFe with a thickness of 3nm was carried out continuously.

[0051] Next, the aluminum_{20x} layer with a thickness of 1.5nm was formed on the ferromagnetic layer 3 by carrying out sputtering of the 20aluminum₃ target in Ar gas. Subsequently, without carrying out a vacuum break, by carrying out glow discharge with introducing pure oxygen in equipment, the oxygen plasma was generated and the tunnel barrier layer 6 was obtained by oxidizing aluminum_{20x} to aluminum₂₀₃ using this oxygen plasma. At this time, accommodation of the conversion degree from aluminum_{20x} to aluminum₂₀₃ was performed by controlling the power and oxidation time amount at the time of glow discharge.

[0052] After exhausting pure oxygen from equipment, the ferromagnetic layer 4 which consists of 0.95 (Co₉Fe)_{B0.5} [with a thickness of 1.5nm] on the tunnel barrier layer 6 was formed by performing sputtering under the conditions same with having mentioned above. Subsequently, sputtering was performed under the conditions same with having mentioned above in Ar gas, the aluminum_{20x} layer was formed on the ferromagnetic layer 4, and the tunnel barrier layer 7 which consists of aluminum₂₀₃ was obtained by carrying out oxygen plasma treatment of this aluminum_{20x} layer. Furthermore, sequential membrane formation of the ferromagnetic layer 5 which consists of CoFe with a thickness of 5nm on the tunnel barrier layer 7, the antiferromagnetism layer 9 which consists of Ir₂₂Mn₇₈ with a thickness of 17nm, and the protective coat 13 which consists of Ta with a thickness of 5nm was carried out by performing sputtering under the conditions same with having mentioned above.

[0053] Then, by carrying out patterning of these thin films using a usual photolithography technique and a usual ion milling technique, so that width of face W may be 2-0.25 micrometers and die-length L may be 3 times the width of face W prescribed the duplex tunnel junction section. The magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 2 as mentioned above was obtained.

[0054] In addition, the magnetization direction of the ferromagnetic layer 3 and the magnetization direction of the ferromagnetic layer 5 were fixed in the same direction parallel to a substrate side by the antiferromagnetism layers 8 and 9. According to such a configuration, the magnetization direction of the ferromagnetic layers 3 and 5 does not change with the external magnetic fields where several 100 Oe extent is

weak, and the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4 changes corresponding to an external magnetic field. Moreover, in this magneto-resistive effect component 1, resistance of ferromagnetic duplex tunnel junction 2b is the lowest when the magnetization direction of the ferromagnetic layers 3 and 5 and the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4 are the same, and when the magnetization direction of the ferromagnetic layers 3 and 5 and the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4 are opposite, it takes the highest value.

[0055] (Example of a comparison) The magneto-resistive effect component 1 shown in drawing 2 by the same approach as the above-mentioned example explained was produced except having formed the Co9Fe film with a thickness of 3nm instead of forming 0.95 (Co9Fe)B0.5 film with a thickness of 1.5nm as a ferromagnetic layer 4.

[0056] Next, the magnetic-reluctance ratio (TMR) of the magneto-resistive effect component 1 produced in the above-mentioned example and the example of a comparison was investigated. In addition, the following etc. is defined by formula: $TMR(\%) = [(R_{max} - R_{min}) / R_{min}] / 100$, when TMR sets the minimum value of resistance of ferromagnetic duplex tunnel junction 2b to R_{min} and maximum is set to R_{max} .

[0057] Drawing 8 is a graph which shows the magnetic-reluctance ratio of the magneto-resistive effect component 1 concerning the example and the example of a comparison of this invention. An axis of abscissa shows $1/(\text{micrometer}-1)$ of inverse numbers W of the width of face W of the tunnel junction section among drawing, and the axis of ordinate shows the magnetic field strength H_c required to reverse the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4 (Oe). Moreover, among drawing, a curve 61 shows the data obtained about the magneto-resistive effect component 1 concerning the example of this invention, and the curve 62 shows the data obtained about the magneto-resistive effect component 1 concerning the example of a comparison.

[0058] As shown in drawing 8, even if it makes width of face W of the tunnel junction section small to about 0.25 micrometers with the magneto-resistive effect component 1 concerning the example of this invention, the magnetic field strength H_c required to reverse the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4 is fully as small as 40 or less Oes. And since the rate of change to the width of face W of magnetic field strength H_c is small, it turns out that it can deal also with the further detailed-ization.

[0059] With the magneto-resistive effect component 1 which starts the example of a comparison to it, when width of face W of the tunnel junction section was set to about 0.25 micrometers, the magnetic field

strength H_c required to reverse the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4 exceeded 1000e(s), and it became difficult practically to reverse the magnetization direction of the ferromagnetic layer 4.

[0060] In addition, except having used Si, Zr, P, Mo, aluminum, and Nb instead of B as an element Y, when the magneto-resistive effect component 1 which starts an example and the example of a comparison by the approach same with having mentioned above was produced and those comparisons were performed, the same inclination as the case where B is used as an element Y was seen. Moreover, when the same comparison was performed using the ingredient expressed with general formula $(CoFeNi)_{100-x}Y_x$ instead of the ingredient expressed with general formula $(CoFe)_{100-x}Y_x$ as an ingredient of the ferromagnetic layer 4, the inclination same with having mentioned above was seen.

[0061]

[Effect of the Invention] As explained above, in this invention, the predetermined ingredient which can obtain magnetic-reluctance rate of change [form / and / the very thin continuation film] high enough is used for the ferromagnetic layer from which the magnetization direction may change according to an external magnetic field. Therefore, when size is contraction-ized, a magnetic-reluctance ratio high enough can be maintained, and increase of a reversal field can be prevented. That is, according to this invention, when size is contraction-ized, the magneto-resistive effect component which maintains a magnetic-reluctance ratio high enough, and can prevent increase of a reversal field, magnetic memory, the magnetic head, and magnetic-reproducing equipment are offered.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The sectional view showing roughly the magneto-resistive effect component concerning the 1st operation gestalt of this invention.

[Drawing 2] The sectional view showing roughly the magneto-resistive effect component concerning the 2nd operation gestalt of this invention.

[Drawing 3] The graph which shows an example of the relation of the presentation and its magnetic-reluctance rate of change of the ferromagnetic layer of the magneto-resistive effect component concerning

the 1st of this invention, and the 2nd operation gestalt.

[Drawing 4] The sectional view showing roughly the magnetic memory using the magneto-resistive effect component concerning the 1st of this invention, and the 2nd operation gestalt.

[Drawing 5] The representative circuit schematic of the magnetic memory shown in drawing 4 .

[Drawing 6] The perspective view showing roughly the magnetic-head assembly which has the magnetic head using the magneto-resistive effect component concerning the 1st of this invention, and the 2nd operation gestalt.

[Drawing 7] The perspective view showing roughly the magnetic recorder and reproducing device which carried the magnetic-head assembly shown in drawing 6 .

[Drawing 8] The graph which shows the magnetic-reluctance ratio of the magneto-resistive effect component concerning the example and the example of a comparison of this invention.

[Description of Notations]

- 1 -- Magneto-resistive effect component
 - 2a -- Ferromagnetic single tunnel junction
 - 2b -- Ferromagnetic duplex tunnel junction
 - 3-5 -- Ferromagnetic layer
 - 6 7 -- Tunnel barrier layer
 - 8 9 -- Antiferromagnetism layer
 - 10 -- Substrate
 - 11 -- Diffusion barrier layer
 - 12 -- Orientation control layer
 - 13 -- Protective layer
 - 14 -- Wiring layer
 - 15 -- Insulating layer
-

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-グ-ト [*] (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		G 1 1 C 11/14	Z 5 E 0 4 9
G 1 1 C 11/14			A 5 F 0 8 3

11/15

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-401185(P2000-401185)

(22) 出願日 平成12年12月28日 (2000.12.28)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者

砂井 正之

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者

斉藤 好昭

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人

100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

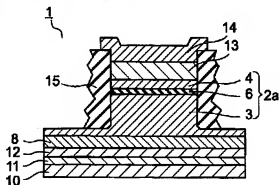
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、磁気ヘッド、及び磁気再生装置

(57) 【要約】

【課題】 サイズを縮小した場合においても十分に高い磁気抵抗比を維持し且つ反転磁界の増大を防止し得る磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、磁気ヘッド、及び磁気再生装置を提供すること。

【解決手段】 本発明の磁気抵抗効果素子1は、所定の外部磁場において外部磁場の非印加時に備える磁化の方向を保持する第1の強磁性層3と、上記外部磁場において外部磁場の非印加時に備える磁化の方向が変化し得る第2の強磁性層4と、第1の強磁性層3と第2の強磁性層4との間に介在する第1のトンネル障壁層6とを具備し、第1の強磁性層3、第1のトンネル障壁層4、及び第2の強磁性層6は強磁性トンネル接合を形成し、第2の強磁性層6に含まれる強磁性材料の組成は一般式 $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Y}_x$ または一般式 $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Y}_x$ で表され、前記YはB、Si、Zr、P、Mo、Al、及びNbからなる群より選ばれる少なくとも1種の元素であることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の外部磁場において前記外部磁場の非印加時に備える磁化の方向を保持する第1の強磁性層と、前記外部磁場において前記外部磁場の非印加時に備える磁化の方向が変化し得る第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層との間に介在する第1のトンネル障壁層とを具備し、前記第1の強磁性層、前記第1のトンネル障壁層、及び前記第2の強磁性層は強磁性トンネル接合を形成し、

前記第2の強磁性層に含まれる強磁性材料の組成は一般式 $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Y}_x$ または一般式 $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Y}_x$ で表され、前記YはB、Si、Zr、P、Mo、Al、及びNbからなる群より選ばれる少なくとも1種の元素であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 前記xは不等式 $3 \leq x \leq 16$ に示す関係を満足することを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 前記第2の強磁性層の膜厚は0.3nm乃至2.5nmの範囲にあることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 前記外部磁場において前記外部磁場の非印加時に備える磁化の方向を保持する第3の強磁性層と第2のトンネル障壁層とをさらに具備し、前記第3の強磁性層及び前記第2のトンネル障壁層は前記第2の強磁性層が前記第1のトンネル障壁層と前記第2のトンネル障壁層との間に介在し且つ前記第2の強磁性層並びに前記第1及び第2のトンネル障壁層が前記第1の強磁性層と前記第3の強磁性層との間に介在するように配置され、前記第3の強磁性層、前記第2のトンネル障壁層、及び前記第2の強磁性層は強磁性トンネル接合を形成したことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子を挟んで交差する第1及び第2の配線とを具備することを特徴とする磁気メモリ。

【請求項6】 請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子とを支持する支持体と、前記磁気抵抗効果素子に接続された一対の電極とを具備することを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項7】 磁気記録媒体、

請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子と前記磁気抵抗効果素子とを支持する支持体と前記磁気抵抗効果素子に接続された一対の電極とを具備し且つ前記磁気記録媒体に記録された情報を読み出す磁気ヘッド、及び、

前記磁気ヘッドを前記磁気記録媒体に対して相対移動させる移動機構を具備することを特徴とする磁気再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、磁気ヘッド、及び磁気再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 強磁性-重トンネル接合は、薄い絶縁体層を一对の強磁性層で挟持してなる構造を有している。それら強磁性層を電極として用いてバイス電圧を印加すると、強磁性-重トンネル接合にはトンネル電流が流れる。

【0003】 強磁性-重トンネル接合において、トンネル電流が流れる際のトンネル抵抗、すなわちトンネルコンダクタンス、は、一方の強磁性層の磁化方向と他方の強磁性層の磁化方向とがなす角度に依存して変化する。換言すれば、強磁性-重トンネル接合で得られる磁気抵抗効果 (magnetoresistance effect) は、強磁性層間で磁化方向がなす角度に応じてトンネルコンダクタンスが変化するに基づいている。例えば、一方の強磁性層の磁化方向が膜面に平行な第1の方向であり且つ他方の強磁性層の磁化方向が第1の方向とは逆向きの第2の方向である場合には、トンネルコンダクタンスは最小となる。また、それら強磁性層の磁化方向がともに第1の方向である場合には、トンネルコンダクタンスは最大となる。

【0004】 このような強磁性-重トンネル接合は、様々なデバイスへの応用が期待されている。例えば、一方の強磁性層を磁化方向が固定された磁化層層とし且つ他方の強磁性層を外部磁場に応じて磁化方向が変化し得るフリー層とした強磁性-重トンネル接合については、固体磁気メモリ (或いは、磁気ランダムアクセスメモリ: MRAM) のメモリセルとして利用することが提案されており、このMRAMは、低記憶容量ながら既に試作されている。

【0005】 MRAMは、基本的には非揮発性であり、高速の書き込み及び読み出しが可能であり、しかも、書き込み及び読み出しの繰り返しに対する耐疲労特性が高いなどの優れた特徴を有している。しかしながら、以下に説明するように、MRAMは、大容量化に伴ってメモリセルのサイズを縮小した場合に、フリー層の磁化方向を反転させるのに必要な磁場、所謂、反転磁場、が大きくなり、より大きな書き込み電流が必要となるという問題を有している。

【0006】 フリー層の反転磁場は $1/W$ (W : セルの幅) に比例している。また、この反転磁場は、フリー層の膜厚 t 及び飽和磁化 M_S にも比例することが知られている。すなわち、フリー層の反転磁場は $t \cdot M_S / W$ に比例している。なお、フリー層の反転磁場が $1/W$ に比例しているのは、フリー層の磁化方向を反転させてMRAMセルに記憶された情報を書き換えるためには、フリー層内部に生じる反転磁場を上回る外部磁場を印加する必

要があるが、この反磁場はセルの幅方向に生じる磁場によってもたらされるためである。

【0007】上記比例関係から明らかなように、メモリセルのサイズを縮小した場合に反磁場が増大するのを回避するためには、例えば、フリー層の膜厚 t を減少せよ。しかしながら、膜厚 t を薄くした場合、本来、連続膜であるべきフリー層は得られず、下地上に多数の微粒子を分散させた形態となる。そのような多数の微粒子が形成する薄膜は、強磁性体ではなく常磁性体となるため、磁気抵抗比が著しく減少することとなる。

【0008】また、メモリセルのサイズを縮小した場合に反磁場が増大するのを回避するために飽和磁化 M_s を減少させることもできる。しかしながら、飽和磁化 M_s を減少させるためにフリー層を構成する材料に非磁性材料を添加した場合、往々にして、フェルミ面における伝導電子のスピン分極度も低下して磁気抵抗比の低下を招くこととなる。

【0009】すなわち、従来技術では、メモリセルのサイズを縮小した場合に、十分に高い磁気抵抗比を維持しつつフリー層の反磁場の増大を防止することができなかった。なお、MRAMに関連して説明した問題は、強磁性一重トンネル接合を利用した磁気ヘッドにおいても同様存在している。また、強磁性一重トンネル接合に関して上述した問題は、強磁性二重トンネル接合においても同様である。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、サイズを縮小化した場合においても十分に高い磁気抵抗比を維持しつつ反磁場の増大を防止し得る磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、磁気ヘッド、及び磁気再生装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、所定の外部磁場において前記外部磁場の非印加時に備える磁化の方向を保持する第1の強磁性層と、前記外部磁場において前記外部磁場の非印加時に備える磁化の方向が変化し得る第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層との間に介在する第1のトンネル障壁層とを具備し、前記第1の強磁性層、前記第1のトンネル障壁層、及び前記第2の強磁性層は強磁性トンネル接合を形成し、前記第2の強磁性層に含まれる強磁性材料の組成は一般式 $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Y}_x$ または一般式 $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Y}_x$ で表され、前記YはB、Si、Zr、P、Mo、Al、及びNbからなる群より選ばれた少なくとも1種の元素であることを特徴とする磁気抵抗効果素子を提供する。

【0012】また、本発明は、前記磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子とを挟んで差差する第1及び第2の電線とを具備することを特徴とする磁気メモリを提

供する。

【0013】さらに、本発明は、前記磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子とを支持する支持体と、前記磁気抵抗効果素子に接続された一対の電極とを具備することを特徴とする磁気ヘッドを提供する。

【0014】加えて、本発明は、磁気記録媒体、前記磁気抵抗効果素子と前記磁気抵抗効果素子とを支持する支持体と前記磁気抵抗効果素子に接続された一対の電極とを具備し且つ前記磁気記録媒体に記録された情報を読み出す磁気ヘッド、及び、前記磁気ヘッドを前記磁気記録媒体に対して相対移動させる移動機構を具備することを特徴とする磁気再生装置を提供する。

【0015】本発明において、上記 x は不等式 $3 \leq x \leq 16$ に示す関係を満足することが好ましい。また、本発明において、第2の強磁性層の膜厚は0.3nm乃至2.5nmの範囲内にあることが好ましい。

【0016】本発明において、上記強磁性トンネル接合は、強磁性一重トンネル接合であってもよく、或いは、強磁性二重トンネル接合であってもよい。後者の場合、上記磁気抵抗効果素子は、上記外部磁場において外部磁場の非印加時に備える磁化の方向を保持する第3の強磁性層と第2のトンネル障壁層とをさらに有し、それら第3の強磁性層及び第2のトンネル障壁層は、第2の強磁性層が2つのトンネル障壁層間に介在し且つ第2の強磁性層及び第2つのトンネル障壁層が第1及び第3の強磁性層間に介在するように配置される。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明について、図面を参照しながらより詳細に説明する。なお、各図において、同様または類似する構成要素には同一の参照符号を付し、重複する説明は省略する。

【0018】図1は、本発明の第1の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を概略的に示す断面図である。図1に示す磁気抵抗効果素子1は、強磁性一重トンネル接合2aを有している。この強磁性一重トンネル接合2aは、一対の強磁性層3、4間に絶縁体などからなるトンネル障壁層6を介在させた構造を有している。この強磁性一重トンネル接合2aは、それら強磁性層3、4間をトンネル障壁層6を介してトンネル電流が流れるように構成されている。

【0019】強磁性層3のトンネル障壁層6と接する面の裏面には、反強磁性層8が配置されている。これにより、強磁性層3の磁化方向は、外部磁場を作用させても変化することはない。一方、強磁性層4の磁化方向は、基本的には、外部磁場に応じて自由に回転し得る。すなわち、図1に示す磁気抵抗効果素子1は、強磁性層3は磁化方向が固定された第1の強磁性層、所謂、磁化固定層、であり、強磁性層4は外部磁場に応じて磁化方向が変化し得る第2の強磁性層、所謂、フリー層、である。換言すれば、図1に示す磁気抵抗効果素子1は、

強磁性層4の磁化方向を外部磁場によって反転または回転させて強磁性層3の磁化方向と強磁性層4の磁化方向とがなす角度を変化させるとトンネル抵抗或いはトンネル電流が変化するという磁気抵抗効果を利用するものである。

【0020】上述した強磁性一重トンネル接合2a及び反強磁性層8は、通常、基板10の一方の表面上に、各種薄膜を順次成膜することにより形成される。なお、図1の磁気抵抗効果素子1において、基板10と反強磁性層8との間には、拡散バリア層11及び配向制御層12が基板10側から順次積層されており、強磁性層4上には、保護層13及び配線層14が順次積層されている。また、参照番号15は絶縁層である。

【0021】図2は、本発明の第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を概略的に示す断面図である。図2に示す磁気抵抗効果素子1は、強磁性一重トンネル接合2aの代わりに強磁性二重トンネル接合2bを有しており且つ強磁性二重トンネル接合2bと保護層13との間にさらに反強磁性層9を有していること以外は図1に示す磁気抵抗効果素子1とほぼ同様の構造を有している。

【0022】図2に示す磁気抵抗効果素子1において、強磁性二重トンネル接合2bは、強磁性層3、4間にトンネル障壁層6を介在させ、強磁性層4、5間にトンネル障壁層7を介在させた構造を有している。この強磁性二重トンネル接合2bは、強磁性層3、4間及び強磁性層4、5間をトンネル障壁層6、7を介してトンネル電流が流れるように構成されている。

【0023】また、図2に示す磁気抵抗効果素子1において、強磁性層3に関して説明したのと同様に、強磁性層5も反強磁性層9の存在によって磁化方向が固定された磁化固着層である。図2に示す磁気抵抗効果素子1は、強磁性層4の磁化方向を外部磁場によって反転または回転させて強磁性層3、5の磁化方向と強磁性層4の磁化方向とがなす角度を変化させるとトンネル抵抗或いはトンネル電流が変化するという磁気抵抗効果を利用するものである。

【0024】さて、上述した第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1は、強磁性層4を以下に説明する材料で構成したことを特徴としている。すなわち、図1及び図2に示す磁気抵抗効果素子1において、強磁性層4の組成は、一般式 $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Y}_x$ または一般式 $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Y}_x$ で表される。なお、それら一般式において、YはB、Si、Zr、P、Mo、Al、及びNbからなる群より選ばれる少なくとも1種の元素である。また、xは不等式 $0 < x < 100$ を満足する数値であり、好ましくは、不等式 $3 < x < 16$ を満足する数値である。

【0025】これら一般式に示す材料は、元素Yを含有していないこと以外は同様の組成を有する材料に比べて飽和磁化 M_s が小さく、したがって、磁気抵抗効果素子

1のサイズを微小化した場合（或いは、強磁性層4の幅Wを狭めた場合）においても、反転磁界が過剰に大きくなることのない。また、強磁性層4の膜厚tを減少させた場合においても、元素Yを含有する上記材料による結晶化が抑制されるため、強磁性層4を連続膜として形成することができる。すなわち、磁気抵抗効果素子1のサイズを微小化した場合であっても、上記一般式に示す材料を用いることにより、式 $t \cdot M_s / W$ に比例する強磁性層4の反転磁界を十分に小さな値に維持することが可能となる。

【0026】図3は、本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1の強磁性層4の組成とその磁気抵抗変化率との関係の一例を示すグラフである。このグラフは、一般式 $(\text{CoFe})_{100-x}\text{B}_x$ に示す組成を有し且つ厚さが1nmの強磁性層4を用いた磁気抵抗効果素子1について得られたデータに基づいて描かれており、横軸は強磁性層4中のBの濃度に相当する上記一般式中のxを示し、縦軸は磁気抵抗変化率（%）を示している。

【0027】室温下での通常の成膜方法では、Bを含有しないCoFe膜を連続膜として成膜可能な膜厚の下限はせいぜい1.5nm程度である。CoFe膜が不連続膜として形成された場合、その不連続膜は数nm程度の微粒子の集合体で構成される。これら微粒子のそれぞれは室温下における強磁性を失い、磁化方向が定まらなくなって、所謂、超常磁性となる。その結果、実用的な磁界強度の範囲内においては、磁気抵抗変化率は顕著に低下する。

【0028】それに対し、CoFeにBを添加すると、膜厚0.5nm程度までは連続膜を形成することができ、例えば、膜厚が1nmである場合には、図3に示すように、xを3乃至16とすることにより10%以上と十分に高い磁気抵抗変化率を得ることができ、xを5程度とすることにより20%以上の磁気抵抗変化率を得ることができる。

【0029】なお、図3に示すデータは、元素YとしてBを添加した場合に得られたものであるが、元素YとしてSi、Zr、P、Mo、Al、及びNbを添加した場合においても同様の傾向が観察される。

【0030】元素Yを添加した場合に極めて薄い連続膜を形成可能となる理由は、元素Yの添加によって、成膜過程で成膜面上に到達した原子の拡散或いは移動が抑制されるため、結晶化が抑制されるからである。逆に言えば、元素Yを添加しない場合、成膜面上に到達した原子の拡散或いは移動は比較的自由に行われるため結晶化が生じ易い。そのため、従来技術では、膜厚を薄くした場合に個々の島の径が数nm程度の島状構造が形成され、各島は強磁性体であるにも関わらずその磁化方向が揃わないという超常磁性を示すこととなり、その結果、磁気抵抗変化率が著しく低くなるのである。

【0031】また、図3では、 x が5を超えて増加すると磁気抵抗変化率が低下している。その理由は必ずしも明らかとされている訳ではないが、元素Yの濃度が高くなると伝導電子の散乱が多くなり、フェルミレベルの伝導電子のスピン分極度が著しく低下するためであると考えられる。

【0032】以上説明したように、上記一般式に示す材料によると、極めて薄い連続膜を形成可能であり、しかも、非磁性材料である元素Yを含有しているにも関わらず十分に高い磁気抵抗変化率を得ることができる。すなわち、強磁性層4を上記一般式に示す材料で構成することにより、磁気抵抗効果素子1のサイズを縮小化した場合においても、十分に高い磁気抵抗比を維持し且つ反転磁界の増大を防止することができる。

【0033】上述した磁気抵抗効果素子1において、強磁性層3、5を構成する材料は特に制限されるものではなく、例えば、パーマロイに代表されるNiFe合金、Fe、Co、Ni、及びそれらを含む合金、NiMnSb、PtMnSbのようなホイスラー合金などのハーフメタル、CrO₂、マグネタイト、Mnペロプスカイトなどの酸化物系のハーフメタル、アモルファス合金などの種々の軟磁性材料から、CoPt合金、FePt合金、遷移金属-希土類合金などの硬磁性材料まで、種々の強磁性材料を使用することができる。

【0034】また、上述した磁気抵抗効果素子1において、反強磁性層8、9は、それぞれ、強磁性層3、5との交換結合によりそれらの磁化方向を固定するために設けられている。これら反強磁性層8、9としては、例えば、FeMn、IrMn、PtMn、NiMnなどの反強磁性合金やNiO、Fe₂O₃などの反強磁性材料からなる薄膜に加え、Co/Ru/Co、Co/Au/Coなどの反強磁性交換結合膜を用いてもよい。

【0035】トンネル障壁層6、7は、それぞれ、強磁性層3、4間及び強磁性層4、5間にトンネル電流を流し得る範囲のポテンシャル高さ及厚さを有するものであればよい。トンネル障壁層6、7の材料としては、例えば、Al、Si、Mg、希土類元素、及びこれらは元素を含む合金の酸化物または窒化物などを用いることができる。但し、酸化物絶縁体からなる薄膜は、その作製条件等によってポテンシャル障壁が大きく変化する。磁気抵抗効果素子1の特性は、ポテンシャル障壁の幅及び高さに応じて大きく変化するもので、そのような酸化物絶縁体を用いる場合、素子特性の設定の自由度が高くなる反面、素子サイズに応じて種類や作製条件等を適宜設定する必要がある。

【0036】上記磁気抵抗効果素子1において、基板10としては、例えば、表面にSiO₂酸化膜が形成されたシリコン単結晶基板を用いることができる。基板10上に形成する拡散バリア層11は拡散を防ぐためのものであり、その材料としては、例えば、Ta、TaPt、

Ti、TiN_x、及びCoSi₂等を用いることができる。拡散バリア層上に形成する配向制御層12は、所望の結晶配向性を有する反強磁性層8を形成するための下地層であり、例えば、NiFe、Cu、Ag、及びAuなどの材料で構成される。また、保護層13の材料としては、例えば、TaやAu等を使用することができ、配線層14の材料としては、例えば、Al、Cu、Ag、及びAu等を使用することができる。

【0037】次に、第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1を用いた磁気メモリについて説明する。

【0038】図4は、本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1を用いた磁気メモリ(MRAM)を概略的に示す断面図である。また、図5は、図4に示すMRAMの等価回路図である。

【0039】図4に示すMRAM21はシリコン基板22を有している。このシリコン基板11上にはゲート電極24が形成されており、シリコン基板22の表面領域には、このゲート電極24を挟むようにしてソース・ドレイン領域25、26が形成されている。これにより、MOSトランジスタ23が構成されている。なお、ゲート電極24は、読み出し用のワードライン(WL1)を構成している。また、ワードライン(WL1)24上には、絶縁膜27を介して書き込み用のワードライン(WL2)28が形成されている。

【0040】MOSトランジスタ23のドレイン領域26にはコンタクトメタル29の一端が接続されており、コンタクトメタル29の他端には下地層30が接続されている。この下地層30上のワードライン(WL2)28に対応する位置には強磁性トンネル接合素子(TMR)31が形成されており、さらに、TMR31上にはビットライン(BL)32が形成されている。

【0041】MRAM21のセルは、以上のようにして構成されている。なお、図4に示すTMR31及び下地層30は、例えば、図1及び図2に示す磁気抵抗効果素子1から、基板10、保護層13、配線層14、及び絶縁層15などを除いた構造に相当する。

【0042】上述したMOSトランジスタ23とTMR31とで構成されるメモリセルは、図5に示すように、アレキ状に配列されている。トランジスタ23のゲート電極である読み出し用のワードライン(WL1)24と、書き込み用のワードライン(WL2)28とは平行に配置されている。また、TMR31の上部に接続されたビットライン(BL)32は、ワードライン(WL1)24及びワードライン(WL2)28と直交するように配置されている。

【0043】このMRAM21は、第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1を用いているので、メモリセルのサイズを縮小した場合においても、十分に高い磁気抵抗比を維持しつつフーリ層の反転磁界の増大を防止することができる。すなわち、このMRAM21で

は、メモリスルのサイズを縮小した場合においても、十分に電流で情報の書き込みが可能である。

【0044】なお、MRAM21においては、トランジスタ23の代わりに、ダイオードを使用してもよい。例えば、ワードライン24上にダイオードとTMR31との積層体からなるメモリスルを形成し、TMR31上にワードライン24と直交するようにビットライン32を形成してもMRAM21を得ることができる。

【0045】次に、第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1を用いた磁気ヘッドについて説明する。図6は、本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1を用いた磁気ヘッドを有する磁気ヘッドアセンブリを概略的に示す斜視図である。図6に示す磁気ヘッドアセンブリ41は、例えば、駆動コイルを保持するボビン部などを備えたアクチュエータアーム42を有している。このアクチュエータアーム42にはサスペンション43の一端が取り付けられており、サスペンション43の他端にはヘッドスライダ44が取り付けられている。上述した第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1は、このヘッドスライダ44に組み込まれた磁気再生ヘッドに利用されている。

【0046】サスペンション43上には信号の書き込み及び読み取り用のリード線45が形成されており、これらリード線45はヘッドスライダ44に組み込まれた磁気再生ヘッドの電極にそれぞれ電氣的に接続されている。なお、図6において、参照番号46は、磁気ヘッドアセンブリ41の電極パッドを示している。

【0047】この磁気ヘッドアセンブリ41は、例えば、以下に説明するような磁気記録再生装置に搭載される。図7は、図6に示す磁気ヘッドアセンブリ41を搭載した磁気記録再生装置を概略的に示す斜視図である。図7に示す磁気記録再生装置51において、磁気記録媒体である磁気ディスク52はスピンドル53に回転可能に支持されている。スピンドル53には、制御部（図示せず）からの制御信号に応じて動作するモータ（図示せず）が接続されており、これにより、磁気ディスク52の回転を制御可能としている。

【0048】磁気ディスク52の円周部近傍には固定軸54が配置されており、この固定軸54は、その上下2ヶ所に配置されたボールベアリング（図示せず）を介して図6に示す磁気ヘッドアセンブリ41を揺動可能に支持している。磁気ヘッドアセンブリ41のボビン部にはコイル（図示せず）が巻きつけられており、このコイルとそれを挟んで対向して配置された永久磁石と対向ヨークとは磁気回路を形成するとともにボイスコイルモータ55を構成している。このボイスコイルモータ55によって、磁気ヘッドアセンブリ41の先端のヘッドスライダ44を、磁気ディスク52の所望のトラック上へと位置させることを可能としている。なお、この磁気記録再生装置51において、情報の記録及び再生は、磁気デ

ィスク52を回転させて、ヘッドスライダ44を磁気ディスク52から浮上させた状態で行う。

【0049】以上のように、第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1は、磁気メモリ、磁気ヘッド、磁気再生装置、及び磁気記録再生装置に利用することができる。また、第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1は、磁気センサ及びそれを用いた検出装置などに利用することも可能である。

【0050】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明する。

（実施例）図2に示す磁気抵抗効果素子1を以下に説明する方法により作製した。まず、Si/SiO₂基板10をスパッタリング装置内に搬入した。次に、装置内の初期真空度を 2×10^{-7} Torr以下に設定し、その後、装置内にArを導入して圧力を 2×10^{-3} とした。次いで、Si/SiO₂基板10の一方の主面上に、厚さ5nmのTaからなる拡散バリア層11、厚さ15nmのNiFeからなる配向制御層12、厚さ17nmのIr₂₂Mn₇₈からなる反強磁性層8、及び厚さ3nmのCoFeからなる強磁性層3を連続的に順次成膜した。

【0051】次に、Arガス中でAl₂O₃ターゲットをスパッタリングすることにより、強磁性層3上に厚さ1.5nmのAl₂O_x層を成膜した。次いで、真空破壊することなく装置内に純酸素を導入するとともにグロー放電させることにより酸素プラズマを発生させ、この酸素プラズマを利用してAl₂O_xをAl₂O₃と酸化することによりトンネル障壁層6を得た。このとき、Al₂O_xからAl₂O₃への変換割合の調節は、グロー放電時のパワー及び酸化時間を制御することにより行った。

【0052】装置から純酸素を排気した後、上述したのと同様の条件下でスパッタリングを行うことにより、トンネル障壁層6上に厚さ1.5nmの(Co₉Fe)0.95B_{0.5}からなる強磁性層4を成膜した。次いで、Arガス中にて、上述したのと同様の条件下でスパッタリングを行って強磁性層4上にAl₂O_x層を成膜し、このAl₂O_x層を酸素プラズマ処理することによりAl₂O₃からなるトンネル障壁層7を得た。さらに、上述したのと同様の条件下でスパッタリングを行うことにより、トンネル障壁層7上に、厚さ5nmのCoFeからなる強磁性層5、厚さ17nmのIr₂₂Mn₇₈からなる反強磁性層9、及び厚さ5nmのTaからなる保護層13を順次成膜した。

【0053】その後、通常のフォトリソグラフィ技術とイオンミリング技術を用いて、これら薄膜を幅Wが2~0.25μmであり且つ長さLが幅Wの3倍となるようにパターンニングすることにより二重トンネル接合部を規定した。以上のようにして、図2に示す磁気抵抗効果素子1を得た。

【0054】なお、強磁性層3の磁化方向と強磁性層5の磁化方向とは、反強磁性層8、9によって基板面に平

行な同一方向に固定した。このような構成によると、強磁性層3、5の磁化方向は数1000e程度の弱い外部磁場によって変化するのではなく、強磁性層4の磁化方向は外部磁場に対応して変化する。また、この磁気抵抗効果素子1において、強磁性二重トンネル接合2bの抵抗は、強磁性層3、5の磁化方向と強磁性層4の磁化方向とが同一である場合に最も高く、強磁性層3、5の磁化方向と強磁性層4の磁化方向とが反対である場合に最も低い値をとる。

【0055】(比較例) 強磁性層4として厚さ1.5nmの(Co9Fe)0.95B0.5膜を形成する代わりに厚さ3nmのCo9Fe膜を形成したこと以外は上記実施例で説明したのと同様の方法により図2に示す磁気抵抗効果素子1を製作した。

【0056】次に、上記実施例及び比較例で作製した磁気抵抗効果素子1の磁気抵抗比(TMR)を調べた。なお、TMRは、強磁性二重トンネル接合2bの抵抗の最小値を R_{min} とし且つ最大値を R_{max} とした場合に、下記

$$TMR(\%) = [(R_{max} - R_{min}) / R_{min}] \times 100$$

で定義される。

【0057】図8は、本発明の実施例及び比較例に係る磁気抵抗効果素子1の磁気抵抗比を示すグラフである。図中、横軸はトンネル接合部の幅Wの逆数 $1/W$ (μm^{-1})を示し、縦軸は強磁性層4の磁化方向を反転させるのに必要な磁場の強さ H_C (Oe)を示している。また、図中、曲線61は本発明の実施例に係る磁気抵抗効果素子1について得られたデータを示し、曲線62は比較例に係る磁気抵抗効果素子1について得られたデータを示している。

【0058】図8に示すように、本発明の実施例に係る磁気抵抗効果素子1では、トンネル接合部の幅Wを0.25 μm 程度に小さくしても、強磁性層4の磁化方向を反転させるのに必要な磁場の強さ H_C が400e以下と十分に小さい。しかも、磁場の強さ H_C の幅Wに対する変化率は小さいので、さらなる微細化にも対応可能であることが分かる。

【0059】それに対し、比較例に係る磁気抵抗効果素子1では、トンネル接合部の幅Wを0.25 μm 程度とすると、強磁性層4の磁化方向を反転させるのに必要な磁場の強さ H_C が1000eを超え、実用上、強磁性層4の磁化方向を反転させるのが困難となった。

【0060】なお、元素YとしてBの代わりにSi、Zr、P、Mo、Al、及びNbを用いたこと以外は上述したのと同様の方法により実施例及び比較例に係る磁気抵抗効果素子1を製作し、それらの比較を行ったところ、元素YとしてBを用いた場合と同様の傾向が見られ

た。また、強磁性層4の材料として一般式(CoFe) $100-xY_x$ で表される材料の代わりに一般式(CoFeN) $100-xY_x$ で表される材料を用いて同様の比較を行ったところ、上述したのと同様の傾向が見られた。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、外部磁場に応じて磁化方向が変化する強磁性層に、極めて薄い連続膜を形成可能であり且つ十分に高い磁気抵抗変化率を得ることが可能な所定の材料を使用する。そのため、サイズを縮小化した場合においても、十分に高い磁気抵抗比を維持し且つ反転磁界の増大を防止することができる。すなわち、本発明によると、サイズを縮小化した場合においても十分に高い磁気抵抗比を維持し且つ反転磁界の増大を防止し得る磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、磁気ヘッド、及び磁気再生装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を概略的に示す断面図。

【図2】本発明の第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を概略的に示す断面図。

【図3】本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の強磁性層の組成とその磁気抵抗変化率との関係の一例を示すグラフ。

【図4】本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を用いた磁気メモリを概略的に示す断面図。

【図5】図4に示す磁気メモリの等価回路図。

【図6】本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を用いた磁気ヘッドを有する磁気ヘッドアセンブリを概略的に示す斜視図。

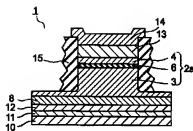
【図7】図6に示す磁気ヘッドアセンブリを搭載した磁気記録再生装置を概略的に示す斜視図。

【図8】本発明の実施例及び比較例に係る磁気抵抗効果素子の磁気抵抗比を示すグラフ。

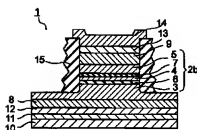
【符号の説明】

- 1…磁気抵抗効果素子
- 2a…強磁性二重トンネル接合
- 2b…強磁性二重トンネル接合
- 3…強磁性層
- 4…強磁性層
- 5…強磁性層
- 6…トンネル障壁層
- 8、9…反強磁性層
- 10…基板
- 11…拡散バリア層
- 12…配向制御層
- 13…保護層
- 14…記録線
- 15…絶縁層

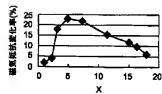
【図1】



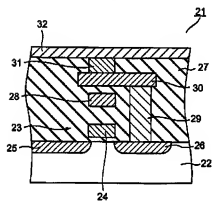
【図2】



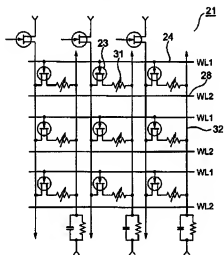
【図3】



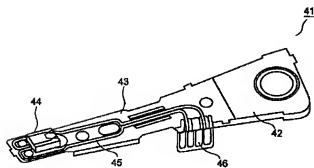
【図4】



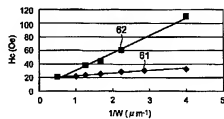
【図5】



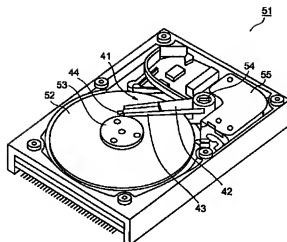
【図6】



【図8】



【図7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

7-マコード' (参考)

G 1 1 C 11/15

H 0 1 F 10/16

H 0 1 F 10/16

G 0 1 R 33/06

R

H 0 1 L 27/105

H 0 1 L 27/10

4 4 7

(72) 発明者 中島 健太郎

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

Fターム(参考) 2G017 AA01 AB07 AD55 AD65

5D034 BA03 BA08 BA15 CA00

5E049 AA04 AA09 AC05 BA06 BA12

BA16

(72) 発明者 天野 実

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

5F083 FZ10 KA01 KA05